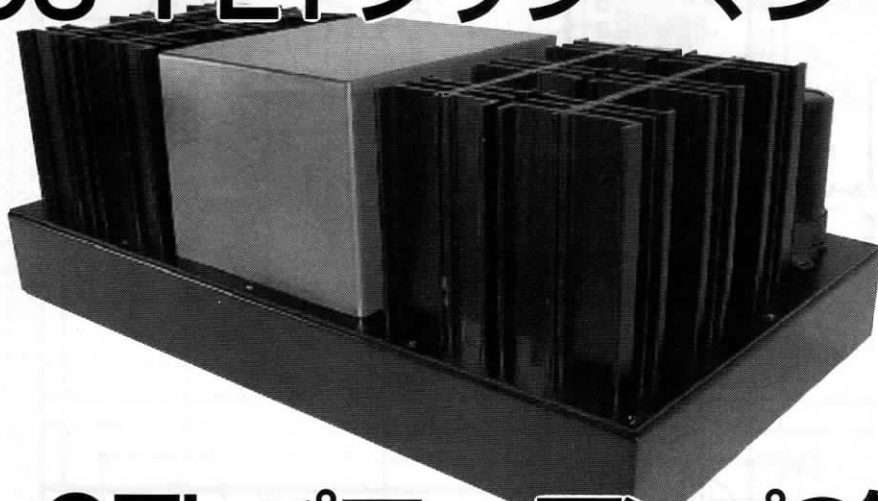
半導体素子で再現を試みる　<構想編>

MOS-FETフッターマン OTLパワー・アンプの製作

山崎　浩

出力トランス付き真空管アンプでは300Bシングル，50ロフチン・ホワイト，KT66ウィリアムソン・アンプなど管球名，回路方式および発明者などを組みあわた呼称が定着しています．他方，真空管OTLでは管球名や回路方式より出力の大きさが注目されます．

真空管OTLの定番回路SEPPはトランス式プッシュプルより歪が多く，負帰還が最もスマートな解決法と認識されています．特に低負荷用OTLは多量の負帰還により（出力トランスがないことと相まって）周波数帯域は拡大され，ダンピングファクターは非常に大きく（出力インピーダンスは非常に小さく）なります．これらは真空管OTLの音質を特徴付ける要素とされてきました．

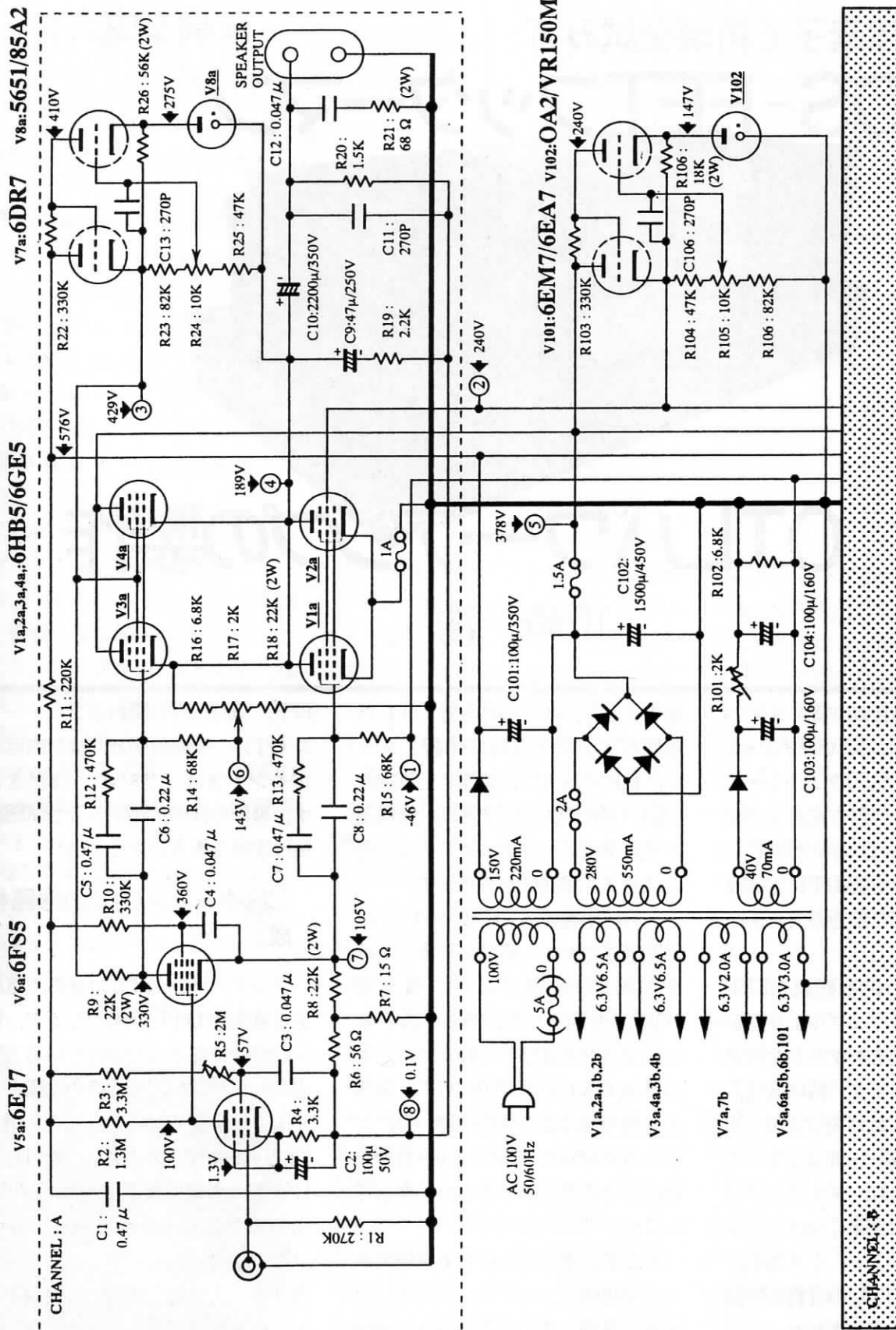
最近，無帰還方式の定電流アンプ（2005年4，5月号）を製作し，パワーアンプの出力インピーダンスが予想以上に音色を大きく左右することに驚きました．多くの真空管OTLは定電流アンプと反対に位置しますが，私がこれまでに製作した真空管OTLの伸びやかな音色は，無帰還方式定電流アンプの余裕のある音色と共通する雰囲気があります．

一方，半導体式OTL（SEPP）は回路構成において格段に進歩したはずなのに，音色において真空管OTLより向上した，あるいは好ましくなったとは感じられません．半導体式OTLと真空管OTL，高帰還と無帰還による音色の違いを，どのように理屈をこねれば自分自身を納得させせることができるか思案しています．

そこで，上記のもやもやを解消すべく半導体式フッターマンOTLの製作を計画しました．フッターマンOTLの回路動作を踏まえ，高圧動作が可能な半導体素子で真空管を置き換えつつ，負帰還と出力インピーダンスの関係を検討する予定です．以下，検討内容に関わるフッターマンOTLの概略説明と，検討内容のポイントを述べさせていただきます．製作の詳細，測定および試聴結果は次号で報告いたします．

《フッターマンOTLの回路構成》

フッターマンOTLは最も人気のある真空管OTL回路でしょう．電気的特性は際立って優れているとも思われませんが，その音色に憧れるマニアは少なくないようです．**第1図**に段間のカップリングに着目したH-3型の増幅部概念図を示します．出力段上側Q3はカソードフォロワで，位相反転段Q2と共に電圧利得はありません．位相反転段Q2のカソード抵抗，プレート抵抗は共に22 kΩで，出力段下側Q4はカソード接地だから出力波形は上下非対称になります．

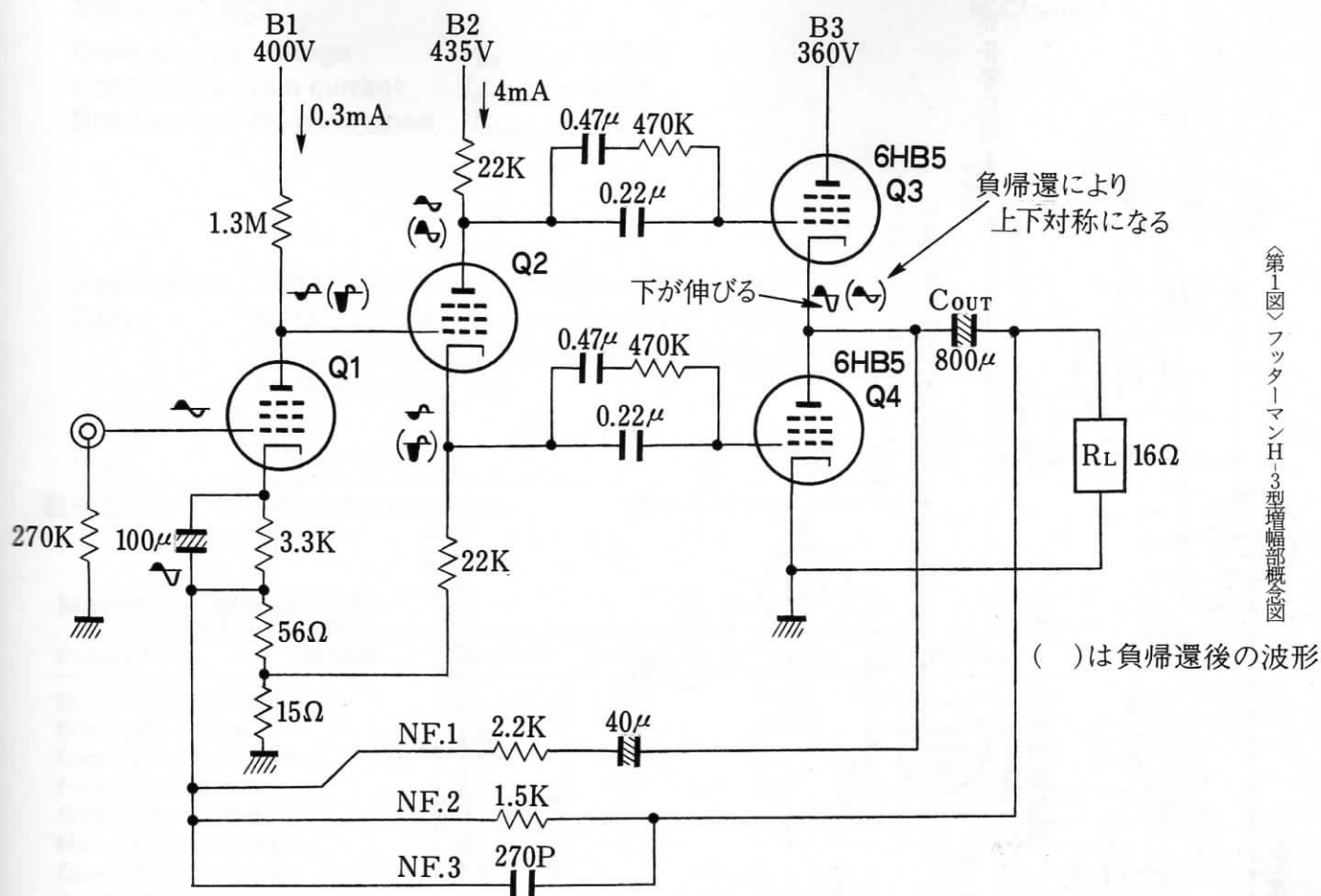
非対称の出力波形は出力段中点か

〈参考図〉
富樫氏が再現した
フッターマン H-3
型 OTL パワー・
アンプ（2000年1
月号）全回路図

らの強力な負帰還によって補正されます．負帰還は3つのルートを介して初段Q1のカソードに戻されます．第1図の（　）内に負帰還によって補正された信号波形を示します．

NF 1：40 μF＋2.2 kΩ

NF 2：800 μF＋1.5 kΩ

NF 3：800 μF＋270 pF

出力コンデンサ Cout（＝800 μF）の両側からの負帰還は低域を伸ばすには有効ですが，出力インピーダンス

〈第1図〉フッターマンH-3型増幅部概念図

がマイナスになることがあり，安定性に問題があるとされてきました．位相反転段Q 2のカソード抵抗，プレート抵抗の22 kΩは真空管アンプとしては低い値であり，高域特性の拡大を意識した定数設定で，半導体化には好都合です．位相反転段と出力段の結合は0.22μFと0.47μF＋470 kΩの並列接続です．

《フッターマンOTLの電源回路》

第2図にH-3型の電源部を示します．出力段Q 3, Q 4のスクリーングリッドを定電圧回路により安定化する一方，出力段プレート電源B 3は単純なコンデンサ(400 μF)入力のブリッジ整流でトランジスタ・アンプ並に簡単です．

半導体式と比べれば真空管式の定電圧回路は，制御管の電圧損失が大きく効率が悪いこと，定電圧放電管はノイズの発生源であること，そして形状が大きいことなどのデメリットが目立ちます．しかし，制御管および電圧検出管のグリッドとアース(または基準電位)間にコンデンサがなくても安定に動作することはメリットです．とくに，フローティングするQ 3のスクリーン電源では，出力から電圧検出用真空管のグリッドに270 pFで出力変動をバイパスするなど，高速応答性を意識した設計意図がうかがわれます．

ヒューズの電流容量値は疑問です．16 Ω負荷に50 Wを供給するにはチャンネルあたり1.75 Armsを必要とするので，ブリッジ整流後に挿入される1.5 Aヒューズは不十分です．トランス2次側も2 Aヒューズでは電源投入時のラッシュ電流で溶断しなかったとしても，ヒューズ線がガラス管内で垂れ下がると思います．整流平滑コンデンサの容量値400μFはいくつもの制約条件*を前提とした妥協点なのでしょう．

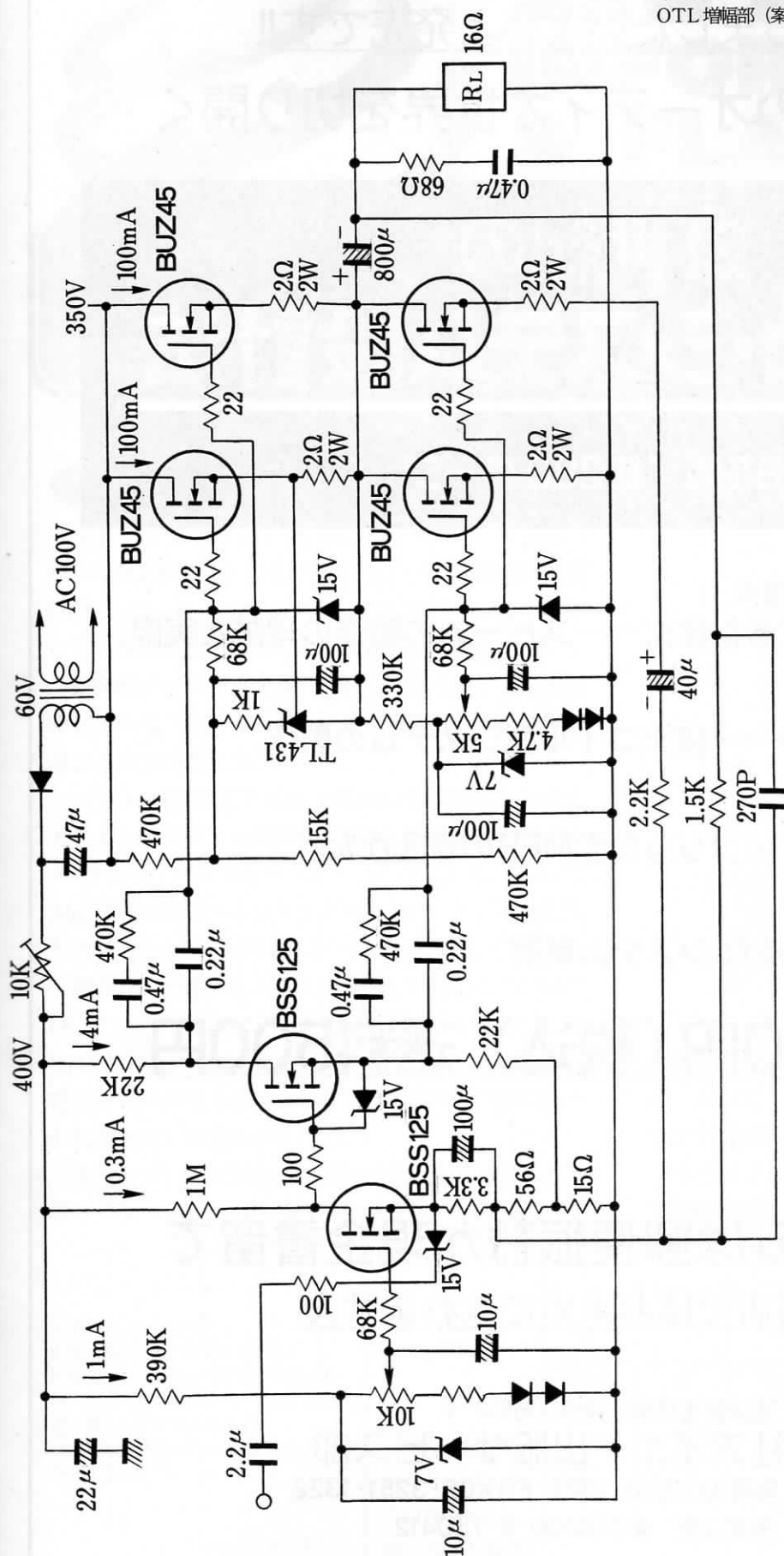
* 電源トランスおよび整流ダイオードの内部抵抗，ACライン電圧変動，ヒューズの定格に対する感度，実際に使用するスピーカのインピーダンスなど

H-3型の電源回路は小形軽量化が目的のラインオペレートH-1型とは大きく異なりますが，H-1型の不具合を解決するために，導入せざるを得なかった最小限の妥協の結果と想像します．

《半導体式フッターマンOTLで確認したいこと》

フッターマンOTLを原回路通りに再現することも，楽しいに違いありません．しかし，真空管の音色を

〈第3図〉
半導体式フッターマン
OTL増幅部（案）

接続			
名称	6HB5		
用途 種類 $E_f I_f$	水平偏向出力 ビーム管 6.3×1.5		
C_e	C_{g1-p} 0.4 C_{in} 22 C_{out} 9.0		
E_{bb}	770		
E_b	—		
e_{pm}	6000 −1500		
P_p	18		
E_{cc2}	—		
E_{c2}	220		
P_{g2}	3.5		
E_{c1}	-55		
e_{g1m}	-330		
I_k	230		
i_{km}	800		
R_g	1.0		
e_{hk}	±200V（H⊕のときdc分<100V）		
E_{bb}	—	—	—
E_b	5000	60	130
E_{c2}	130	130	130
E_{c1}	-66	0	-20
e_{g1}	—	—	—
R_k	—	—	—
I_b	1	410	50
I_{c2}	—	24	1.75
E_{bv}	—	—	—
g_m	—	—	9100
r_p	—	—	11
μ	—	—	4.7
備考	16HB5（$E_f \times I_f$＝15.8×0.6，t_{hw}＝11秒） 21HB5（$E_f \times I_f$＝21×0.45，t_{hw}＝11秒）		

●フッターマンH-3に使用された6HB5のデータ（オーディオ用真空管マニュアルより）

力間すなわちドレイン—ゲート間の容量が減少して高周波帯域が伸びます．音質向上にも有効な筈ですが，小形軽量化も設計の狙いであったフッターマンOTLが，高圧動作する半導体によって重くなってしまいそうなことが気がかりです．

（つづく）